

TRATAMIENTO GRÁFICO DE IMÁGENES GENERADAS CON CÁMARAS TERMOGRÁFICAS CON TECNOLOGÍA DE INFRARROJOS (IR) AL SERVICIO DEL MAPEADO DE ANOMALÍAS EN FACHADAS DE EDIFICIOS HISTÓRICOS.

Fernando RICO DELGADO
Juan José MOYANO CAMPOS
David MARÍN GARCÍA
Juan RINCÓN MILLÁN
Pedro FERNÁNDEZ DE VALDERRAMA APARICIO

Universidad de Sevilla
Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación.

ABSTRACT

The images and graphics generated by applying thermal imaging infrared technology (IR), is very valuable for the inspection and nondestructive testing in the field of construction. The mapping generated by this technology in building facades, detects areas that are faulty transmission of heat energy in the walls, leaking or introduced by them, also reflecting the operating conditions of heating, ventilation and air conditioning, identifying problems and anomalies of these facilities, as well as the proper functionality of the constructive elements that could affect the habitability or safety in the building.

Representative example of application of this procedure has been the inspection of the facade of the former Royal Tobacco Factory of Seville, now houses the Rectorate of the University of Seville. This exercise aims to demonstrate the most common problems of collection, processing and interpretation of graphical data presented by the application of this technology to facades of historic buildings.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las técnicas avanzadas en el campo de la inspección y el diagnóstico en la edificación, destacan aquellas que tienen carácter de no destructivas ni invasivas, siendo estas de diversa índole, como las radiológicas, radiografías⁷⁹, tomografías⁸⁰, gammografías⁸¹, rayos X, u otras como los ultrasonidos⁸², etc.

Algunas de estas técnicas presentan diversos inconvenientes, y se encuentran sujetas al cumplimiento de una estricta normativa, como ocurre con la radiografía industrial, que presenta además, unos elevados costes añadidos en equipos y medios de seguridad. Es por ello que una de las técnicas más seguras, económicas y fáciles de usar dentro del actual y variado mercado de equipos técnicos, es la termografía infrarroja.

La termografía se basa en que todos los objetos que están a una temperatura superior a 0K (-273°C) emiten radiación infrarroja. La intensidad de radiación infrarroja está correlacionada con la temperatura superficial. Esta diferencia de temperaturas se representa en una escala de grises o de color, que se muestra junto a la imagen, y que sirve como referencia.

Debido a las capacidades no destructivas de este tipo de análisis, ya que estas mediciones se hacen a distancia, los sistemas de medición termográficos son instrumentos indispensables, en una gran variedad de aplicaciones de Investigación y Desarrollo. También en el campo de los procesos industriales lleva utilizándose varios años, pues permite la visualización de temperaturas adquiridas por fricciones en máquinas, motores y componentes, sin interferir en su funcionamiento.

En la actualidad y en el ámbito de la edificación, existen empresas que se dedican a este tipo de análisis, bien mediante el estudio directo por parte de sus técnicos, a través por el alquiler de equipos. En el capítulo de las instalaciones, el mercado ofrece varias posibilidades para encargar estudios concretos mediante imágenes infrarrojas, de puntos determinados que puedan presentar algún tipo de anomalía y/o patología. Esto es debido a que en los capítulos de las instalaciones, son más fácilmente medibles las variaciones de temperatura de los

⁷⁹ Radiografías: Se utilizan radiografías de pequeña longitud de onda rayos x, que después de atravesar una soldadura impresionan una película fotográfica; los defectos se acusan mediante manchas oscuras, es un método muy utilizado, aunque de coste elevado. Este sistema detecta defectos superficiales e internos.

⁸⁰ Tomografía: Viene del griego tomos que significa corte o sección y grafía que significa representación gráfica. Por tanto tomografía es la obtención de imágenes de cortes o secciones de algún objeto.

⁸¹ Gammagrafía.- Radiografía de las sombras producidas por un cuerpo atravesado por rayos gamma:

⁸² Ultrasonidos: Se utilizan las vibraciones de alta frecuencia de 0.5 a 5 Megaciclos, que mediante un palpador (emisor/receptor ondas ultrasónicas) son forzadas a atravesar la zona a examinar; la señal puede ser recogida por otro palpador en la cara opuesta o bien por el primer palpador que recoge el eco, producido por la cara opuesta y por los posibles defectos. La señal recogida es convertida electrónicamente en ondas.



elementos que componen el sistema, y por tanto sus anomalías, cuando estos valores oscilan más allá de los parámetros de seguridad establecidos, dentro de las temperaturas conocidas de uso.

Asimismo, algunas empresas especializadas empiezan a utilizar la imagen termográfica, para la comprobación de distintos tipos de materiales, y el comportamiento de estos, en determinadas circunstancias dentro de laboratorios, para determinar los límites de uso de estos materiales, y saber a priori, los resultados que puedan ofrecer en situaciones extremas.

Con respecto a los materiales y los parámetros que puedan aconsejar su uso para mejorar el aislamiento en edificación, por las características propias del elemento, o por el método constructivo utilizado en su ejecución, se podría indicar, que el uso de las imágenes termográficas en la edificación, pueden establecer pautas para la mejora de la eficiencia energética, ya que la actual normativa concede una especial atención al ahorro energético en el sector de la edificación. Dicha norma, aunque destaca la obligatoriedad de su cumplimiento en las obras de nueva construcción, puede ser aplicada a edificaciones ya existentes. Debemos tener en cuenta que esta tecnología tiene, una mayor aplicación, en aras a la detección de anomalías y mejora de la eficiencia térmica, optimizando los recursos energéticos en estas edificaciones antiguas.

Esto último, las pérdidas energéticas detectadas mediante la aplicación de tecnología infrarroja, y la mejora de la eficiencia energética, una vez localizadas y subsanadas estas patologías en fachadas de edificaciones ya existentes, tienen varios aspectos comunes. El ser edificaciones antiguas que presentan deficiencias de diseño y/o ejecución, con uso de materiales constructivos inadecuados, o por haberse realizado en las mismas, reformas posteriores que hayan modificado el diseño o los materiales originales, muestran su máximo exponente en edificios históricos que en la actualidad están en uso, tal es el caso del modelo utilizado para la aplicación en este trabajo. Asimismo debe destacarse que es en estos edificios, donde este tipo de análisis no destructivo adquiere mayor importancia, pudiendo además, identificar otros deterioros superficiales que en extensión o grado implique una intervención urgente.

Además de lo indicado, cabe subrayar la variedad de usos que se derivan de los estudios que con imágenes termográficas pueden realizarse en una edificación. Por ejemplo, la aplicación en informes periciales que sirven para la ilustración gráfica de patologías en el ámbito judicial, en los que al igual que en otros casos, es necesario informar a personas ajenas al mundo de la edificación, que presentan serias dificultades en la comprensión y percepción de deficiencias y/o patologías. El grado real y no percibido a simple vista, se presenta con una ilustración de fácil lectura, que resalta la importancia de la documentación gráfica que acompaña a la información escrita transmitida por el técnico. Con ello se dota a los informes técnicos de una facilidad perceptiva, que incluso será mayor, no sólo por la imagen en sí misma, sino por la asociación de colores social y normativamente conocida, a la magnitud de las patologías detectadas. Es decir, una fotografía visible acompañada de su imagen térmica asociada, será un documento explicativo al alcance comprensivo de cualquier persona, pues se distinguirán sin género de dudas las distintas zonas coloreadas, al aparecer una breve leyenda indicativa de las temperaturas representadas por cada color.

Más allá de un análisis exhaustivo de la termografía aplicada a la edificación, lo aquí expuesto se centra en el protocolo de uso necesario, para la adecuación gráfica de esta técnica, a los requerimientos específicos de la edificación y su integración con el proyecto técnico. Para ello, se propone una metodología de trabajo que en su aspecto gráfico, facilite el análisis y estudio térmico de una fachada en un edificio histórico, tomando como ejemplo la Real Fábrica de Tabacos, actual edificio del Rectorado de la Universidad de Sevilla.

OBJETIVOS

El objetivo principal que se pretende conseguir con esta investigación, consiste en desarrollar los aspectos gráficos de la Termografía Infrarroja aplicados en la edificación como técnica de análisis no destructivo, en la detección de anomalías, patologías y/o pérdidas energéticas en fachadas de edificación. Posteriormente, analizar las ventajas o inconvenientes que la aplicación de la misma pueda tener. Plantear un protocolo de actuación para que el análisis térmico en fachadas sea un instrumento de uso común, viable económicamente, y que facilite la localización en un proyecto técnico, de las zonas de fachadas que presenten deficiencias, ilustrando la subsanación de estas patologías y/o anomalías detectadas a priori.

Dentro del ámbito del estudio de imágenes infrarrojas y su uso en fachadas de edificación, existe una normativa europea vigente en la actualidad⁸³, que especifica de manera genérica dicho uso, dejando el desarrollo y aplicación del mismo a los estados miembros de la comunidad, para la adaptación de dicha norma a las características específicas de cada país.

Teniendo presente las limitaciones propias y/o técnicas en cuanto a material tecnológico disponible, creemos que resulta novedoso, el que dentro del campo de las nuevas tecnologías de diagnóstico por imagen, se

⁸³ Norma EN 13187:1998. Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos. (ISO 6781:1983 Modificada). (RATIFICADA POR AENOR EN NOVIEMBRE 2000).

realice una investigación específica sobre el uso de imágenes infrarrojas en el análisis de los cerramientos de edificaciones. Ello permitirá establecer en el futuro, un banco de datos de imágenes termográficas, que sirvan como referencia para la detección de patologías, y la mejora de la eficiencia energética y la calidad ambiental de las edificaciones, especialmente en edificios antiguos y/o de carácter histórico. (Rico Delgado, F., 2009)

Es de especial importancia facilitar al que no es experto en la materia, una imagen de patologías en edificación, mediante la ayuda de los elementos gráficos ilustrativos, que subsanen la falta de conocimientos científicos o técnicos relacionados. Por ejemplo, uno de los casos mas representativos es el puente térmico en la fachada de un edificio, donde el valor informativo que añade una imagen tecnológicamente avanzada, será en nuestro caso doblemente importante, puesto que se mostrarán aspectos no visibles para el ojo humano.

Como aplicación al análisis que se plantea, se ha elegido un edificio sevillano, que por su singularidad, hemos considerado más apropiado para el objeto de esta investigación, centrándonos en el análisis de una de las fachadas de la Real Fábrica de Tabacos, sede actual del Rectorado de la Universidad de Sevilla.

Dentro del mundo tecnológico referido, es evidente que los equipos que pueden utilizarse, pueden tener un coste muy elevado, y que este coste económico haga inviable para el técnico autónomo una inversión, que solo podría ser amortizada con la aplicación y uso de dicho equipo, en un elevado número de obras o proyectos, y que estos además, fuesen de gran envergadura, lo cual y como se ha mencionado antes, puede quedar subsanado por el alquiler puntual.

El protocolo de actuación que se presenta en este trabajo, pretende dentro del área de la termografía, establecer una ordenación en la interrelación de las imágenes obtenidas con esta tecnología, con otras aplicaciones gráficas y fotográficas, maximizando el uso de un equipo infrarrojo de características medias. Y que esté al alcance del mayor número de profesionales, para que estos consideren la posibilidad de su uso de forma habitual, y como complemento en el desarrollo de proyectos, informes y/o peritaciones que puedan realizar, a la vista de las ventajas que ofrece, este método de análisis.

CONTENIDO

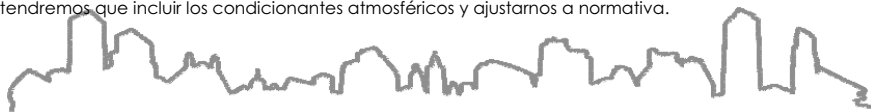
Consideramos que deben existir dos elementos fundamentales para la realización de un estudio mediante termografía infrarroja. El primero, la documentación gráfica que nos permita ilustrar el análisis, y el segundo una breve memoria constructiva, que describa los diferentes materiales constitutivos y/o acabados superficiales, que vamos a encontrarnos en las fachadas a considerar. Si el estudio es un paso previo a una reforma futura ya prevista, será necesario, que la memoria constructiva detalle exhaustivamente los componentes constructivos, para poder posteriormente utilizar estos datos en el proyecto, justificando el cumplimiento del HE1 del CTE.

La necesidad de estos dos elementos supondrá de manera genérica, una primera visita del técnico para recabar información mediante la inspección del lugar, para tomar datos in situ. Podremos solicitar información al propietario/os, y el acceso a la posible documentación relacionada de la que disponga, pudiendo en esta visita, si es necesario, y no existen planos, tomar los datos y mediciones oportunos, que nos permita posteriormente, en nuestro estudio, preparar los croquis o dibujos que se adjuntarán en el informe. Además poder prever los parámetros que definirán la calibración de la cámara y el resto del equipo que vamos a necesitar en el análisis. Un ejemplo claro de esto es la revisión de los valores de emisividad de diferentes materiales en algunas zonas, o la necesidad de utilizar una estación meteorológica portátil, para recabar valores atmosféricos⁸⁴.

También en esta primera visita haremos una estimación previa del tiempo que durará la inspección, y las condiciones necesarias para la visita con el equipo. En nuestro caso y dado el tamaño del edificio, el estudio de la totalidad de las fachadas, podría posponer el trabajo meses, debido a: la necesidad de innumerables visitas por las dificultades y volumen del trabajo exterior, las dificultades de acceso a las dependencias interiores, los permisos y la cantidad de mobiliario que existe, etc. Por todo ello, este trabajo se ha centrado en la fachada de la Avenida del Cid, que comprende en su mayor parte las antiguas Facultades de Derecho y de Filosofía. Independientemente de las jornadas dedicadas a la búsqueda y/o realización de información gráfica, una vez resueltas las solicitudes de acceso, la previsión del número total de visitas a realizar, tendrá en cuenta el escaso margen horario del número de horas de luz, sin que la exposición directa al sol, pueda incidir en los resultados. Dependiendo de la estación anual y la ubicación geográfica del edificio objeto de análisis, las condiciones climáticas imperantes determinarán este margen horario.

Nos encontraremos en determinados trabajos, y dependiendo de las características y uso del edificio, con el tener que realizar alguna visita nocturna, lo cual debe tenerse en cuenta, y así debemos hacérselo ver al propietario, entidad u organismo, pues se puede derivar la necesidad de permisos de acceso a esas horas y también una mayor repercusión en el coste económico, de nuestro servicio como técnicos.

⁸⁴ Debe tenerse en cuenta que si el trabajo a realizar va más allá de una simple inspección y requiere la emisión posterior de un informe termográfico, tendremos que incluir los condicionantes atmosféricos y ajustarnos a normativa.



El principal factor que determina el número de horas estimadas es, evidentemente, la dimensión total en anchura y altura de la fachada. Es pues necesario, en determinadas ocasiones, el uso de medios auxiliares que faciliten el acceso a esas zonas (especialmente en trabajos en altura), o el acceso a propiedades colindantes en el caso de vías, que por sus dimensiones, impidan alejarnos. Esto último ocurre con frecuencia en áreas del casco histórico.

DETERMINACIÓN ELEMENTOS GRÁFICOS NECESARIOS.

Para el comienzo de este tipo de análisis, estimamos que debe haber un número mínimo de planos: un plano de planta general, un plano de alzado y un plano de sección por la fachada. En el caso de edificios de varias plantas, habrá que incluir la planta de cada una de ellas.

En los planos de planta y alzado podremos indicar la orientación del edificio, así como representar las dimensiones acotadas principales. En ellos, realizaremos la subdivisión de las zonas (zonificación) a analizar en horizontal y vertical, para facilitar posteriormente, su localización y su posible mapeado mediante fotomontaje digital. Esta zonificación será necesaria por las características ópticas de las cámaras termográficas, que suelen presentar distancias focales elevadas, que se corresponden con ángulos de visión pequeños (inferior a 30°). Es de destacar, que este tipo de estudios comprende el análisis térmico por ambas caras de la fachada, exterior e interior, siendo en este último, donde se suelen presentar las mayores dificultades en cuanto a ángulos de visión. En el presente trabajo no se presentarán los resultados interiores, que en todo caso tendrán su correspondencia con el exterior, en cuanto a la zonificación.

En el caso que nos ocupa, las dimensiones del edificio son lo suficientemente grandes, como para dificultar su presentación en papel a una escala de detalle, y está más que justificado realizar una segmentación de la fachada general.

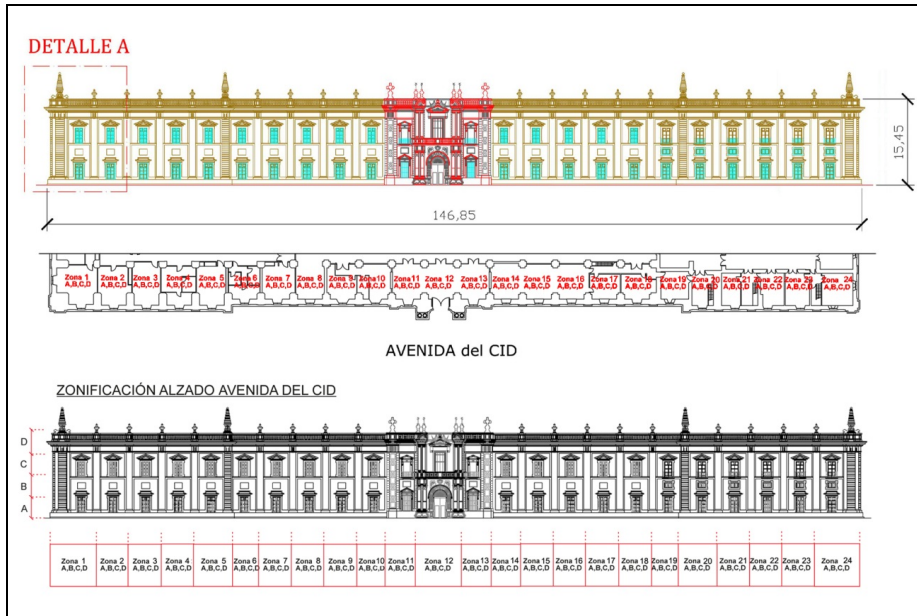


Fig 1. Alzado, Planta baja y zonificación Fachada Avenida de EL CID

Esta segmentación de la fachada, será uno de los elementos importantes en la metodología de trabajo, pues nos permitirá establecer una pauta ordenada y una ubicación precisa final, de los posibles defectos, los cuales podremos situar y analizar globalmente, en el plano de alzado general.

Es necesario en este caso, realizar la subdivisión de zonas no sólo en el plano de planta, sino también en el de alzado, y si se diese el caso, de una elevada altura y/o variaciones en esta de las características del muro de fachada (por ejemplo el espesor), se tendría que realizar igualmente, en el plano de sección por la fachada.

Como propuesta lógica, indicar que la segmentación que planteamos, está numerada de izquierda a derecha (del observador enfrentado), y de abajo hacia arriba (en orden creciente de plantas).

779



En la aplicación de este procedimiento, el detalle A que aparece en la figura 2, e indicado en el alzado a la Avenida de El Cid, nos permite dada la escala, observar con más detalle y dimensionar en altura y anchura tanto los módulos repetitivos, como los huecos existentes en los mismos y que posteriormente serán necesarios.

Posteriormente, será necesario representar tanto en horizontal, como en vertical, las distintas ubicaciones desde las que han sido realizadas las tomas termográficas.

Debe tenerse en cuenta que las condiciones óptimas para la toma de imágenes, hubiese requerido la utilización de medios auxiliares de elevación, por ejemplo plataformas elevadoras, tipo camilla de tijeras o de cubeta articulada. Este tipo de medios sería el adecuado, y nos permitiría realizar el

En el supuesto de otros tipos de edificaciones de mayor elevación, tendrán que tenerse en cuenta estos aspectos y la previsión de medios auxiliares adecuados, que pueden generar costes económicos añadidos. En nuestro caso, las deformaciones ópticas que se obtendrán en las termografías, serán corregidas posteriormente mediante software de tratamiento digital de imágenes, cuestión que no debe preocuparnos, ya que las posibles zonas detectadas en la parte superior, susceptibles de una mayor deformación, mantendrán las proporciones y distancias, con respecto a los elementos arquitectónicos en las que estén encuadradas, y como punto de partida en el diagnóstico, quedarán perfectamente delimitadas.

85 La emisividad de un material especifica cuál es la fracción de radiación de cuerpo negro que es capaz de emitir el cuerpo real. La emisividad depende de la longitud de onda de la radiación, la temperatura de la superficie, el acabado de la superficie y el ángulo de emisión. Su valor está comprendido entre 0 y 1, y en materiales habituales en construcción, suele oscilar en valores cercanos a 0,9.



Una vez anotados los valores de humedad, presión atmosférica, velocidad, dirección del viento y temperaturas tanto en el interior como en el exterior del edificio, procedemos a comprobar, para confirmar, la ubicación de las tomas exteriores, encontrándonos con la limitación propia de la cámara al no tener un objetivo gran angular, y a los árboles que rodean las fachadas del edificio, por lo que decidimos aumentar el número de puntos, con el objetivo de poder superponer posteriormente las imágenes, y realizar el mapa termográfico completo de la fachada.

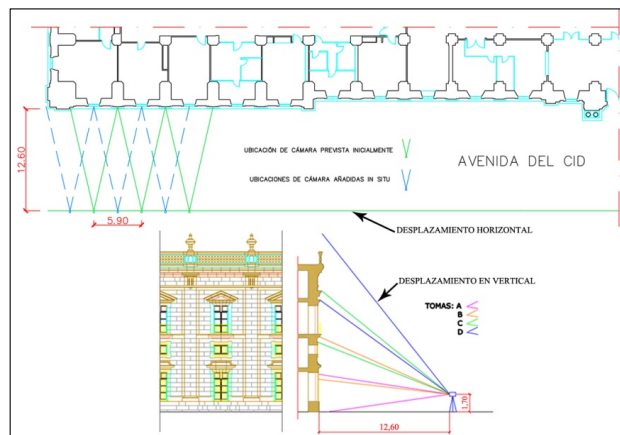


Fig 4.- Ubicación y desplazamiento de cámara termográfica.

La distancia máxima en la que podemos situarnos alejados, con respecto a la fachada de la Avenida de El Cid, es de 12,60 metros en la perpendicular a la misma, y con la ayuda del trípode, establecemos una altura de 1,70 metros, como puede apreciarse en la figura 4.

Comprobamos asimismo que en la fachada a la calle San Fernando la distancia de separación de fachada debido a los árboles perimetrales, se reduce considerablemente, a 9 metros, con lo que las tomas denominadas C y D, y especialmente esta última podrían, en una futura continuación del estudio, quedar excesivamente deformadas por la perspectiva, lo cual nos obligaría, como se ha dicho, a utilizar medios auxiliares elevadores para la planta primera y la balaustrada superior.

CONCLUSIONES

Las ventajas del uso de esta tecnología son: El análisis a distancia y no destructivo, la inmediatez con la que podemos observar las zonas que presentan anomalías térmicas en una fachada, posibilidad de delimitar estas zonas gráficamente, comprobar si estas anomalías se ajustan a un patrón de patología conocida, determinar la evolución de defectos a lo largo del tiempo, delimitar previamente zonas que vayan a ser objeto de restauración o reforma, creación de registros en imágenes que nos permita comprobar el comportamiento térmico de la fachada en distintas épocas del año, verificar la existencia e importancia, o no, de puentes térmicos, etc.

Como inconvenientes encontramos: Los trabajos en fachadas de grandes dimensiones requieren la utilización de equipos con ópticas adecuadas, en interiores los campos de visión ópticos son reducidos en los equipos de bajo coste, y obligan a la realización de un número elevado de tomas, necesitamos equipos auxiliares que determinen condiciones ambientales, es posible que no tengamos acceso a fachadas en plantas elevadas, lo cual implicará utilizar otros medios auxiliares de elevación o búsqueda de ubicaciones apropiadas, el trabajo posterior en nuestro estudio, puede ser laborioso en la composición de imágenes y la edición y redacción de informes, podemos encontrarnos en la necesidad de retirar elementos adosados a fachada o encontrar elementos ajenos al edificio (mobiliario urbano, vegetación) que nos obligue a un mayor número de termografías y fotomontajes posteriores.

Entendemos que las ventajas indicadas son mayores que los inconvenientes, y que el método propuesto alcanza los objetivos planteados, pues establece una metodología de trabajo basada fundamentalmente en la planificación y conocimiento de las limitaciones, que el sistema puede plantear a priori.

El trabajo de campo propuesto, nos facilitará la documentación gráfica necesaria para el desarrollo del protocolo, y nos permitirá gestionar y optimizar, la que será generada por el software específico que acompañe al equipo térmico, y la producida por el resto de equipos necesarios en las mediciones complementarias, como las condiciones atmosféricas.

La planificación con la visita anterior al desplazamiento con el equipo completo, nos anticipará la recogida de datos y la previsión de dificultades, permitiendo que posteriormente, en el trabajo de gabinete, dichas imágenes estén perfectamente ubicadas y detalladas, facilitando su tratamiento e inserción en los informes posteriores.

En el manejo de la información gráfica obtenida, debemos tener en cuenta, que utilizaremos varios tipos de archivos digitales, que no en todos los casos serán compatibles entre sí para la publicación definitiva en Word o PDF, y debiendo por tanto tener conocimientos elementales en la conversión de archivos o capturas de imágenes, si son necesarias en esta publicación.

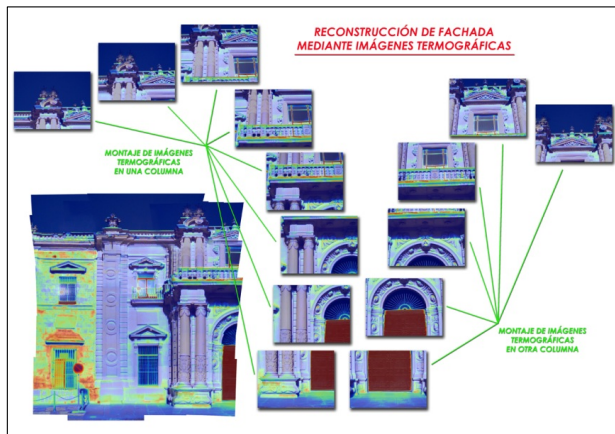


Fig 5.- Proceso de fotomontaje imágenes térmicas.

Tendremos que tener presente, que en las composiciones en las que se utilicen varias imágenes para la restitución térmica de una fachada completa, utilizaremos un software de edición de imágenes tipo Photoshop o PhotoPaint, y que no será posible la edición termográfica de estas composiciones finales, para la adición de zonas o puntos con valores de temperatura numéricos, pues la imagen habrá perdido sus características radiométricas, una vez importadas del software específico del equipo termográfico.

Es por tanto conveniente que el técnico que trabaje con imágenes de este tipo, tenga nociones en el manejo de programas de edición de imagen digital, y prevea con anterioridad a la exportación de imágenes térmicas a TIFF, BMP o JPG, los resultados que puedan aparecer.

En la adición de planos tendremos que trabajar con archivos de CAD y extensiones DWG o DXF, que nos resultarán muy útiles para la reconstrucción 3D y la posibilidad de verificación mediante programas similares a LIDER o los desarrollados por CYPE.

Por último comentar que en los casos en los que tengamos que analizar fachadas sin disponer de medios de elevación, los ángulos que pueden producirse con respecto a tomas a nivel del suelo, pueden deformar las imágenes e invalidar las lecturas. Esta deformación de la perspectiva puede ser subsanada posteriormente (hasta cierto punto), en cotas no muy elevadas, con los programas de edición mencionados. Pero en fachadas en las que no podamos alejarnos (por ejemplo en calles estrechas típicas de cascos históricos), otra posibilidad puede ser, el gestionar permisos de acceso a edificaciones próximas, que nos permitan nivelar las tomas térmicas.

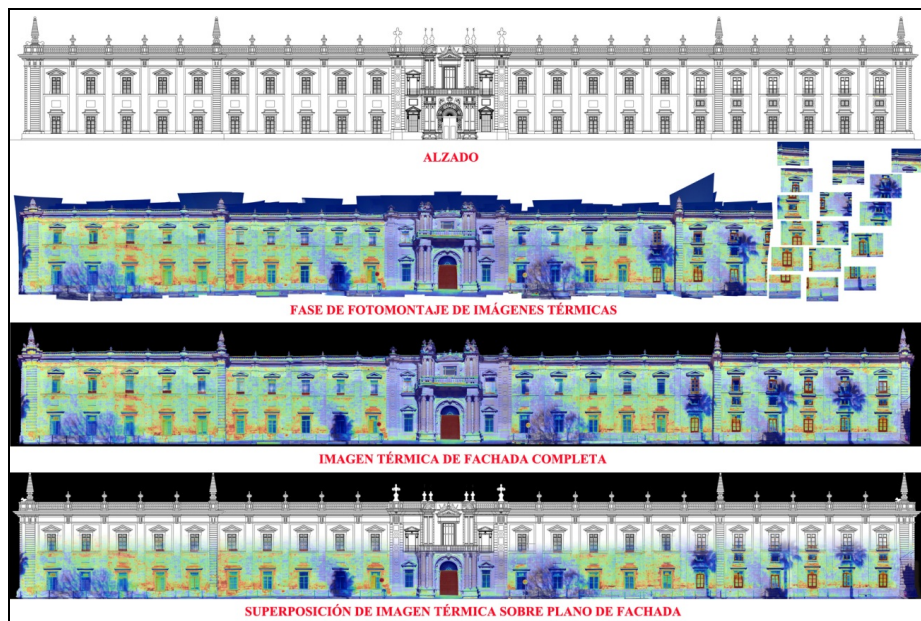


Fig 6. Fases de fotomontaje en fachada completa



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMOND, D. and PATEL, P., 1996, *Photothermal Science and Techniques*, Chapman & Hall, 1ª edición, London.
- AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, ASNT, 2001, *Infrared and Thermal Testing, Nondestructive Handbook on Infrared Technology*, Volume 3, ASNT Handbook Series, X. Maldague technical ed., P. O. Moore ed., 3rd edition, Columbus, Ohio.
- BALARAS, C. A; ARGIRIOU, A. A., 2002, *Infrared thermography for building diagnostics*. Energy and Buildings, vol. 34, pp. 171-183.
- CIELO, P., MALDAGUE, X., DÉOM, Alain A. and LEWAK, R., 1987, *Thermographic Nondestructive Evaluation of Industrial Materials and Structures*, Mater.Eval., Vol 45, pp. 452-460.
- DATSKOS, P.G. and LAVRIK, N.V., 2003, *Detectors - Figures of Merit in Encyclopedia of Optical Engineering*, Ed. R. Driggers, Marcel Dekker, New York, pp. 349-357.
- EN 13187: 1998. *Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes*. Infrared method (ISO 6781 : 1983 modified).
- GAYO MONCÓ, E., 2001, *La humedad como causa de patologías en monumentos: Desarrollo de nuevas técnicas de análisis no destructivo basadas en termografía infrarroja*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Complutense.
- GONZÁLEZ, R.C., WOODS, R.E., 1993, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Comp., New York.
- GÓNZÁLEZ FERNÁNDEZ, D. A., 2006, *Contribuciones a las técnicas no destructivas para evaluación y prueba de procesos y materiales basadas en radiaciones infrarrojas*. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria.
- GRINZATO, E; VAVILOV, V; KAUPPINEN, T., 1998, *Quantitative infrared thermography in buildings*. Energy and Buildings, vol. 29, pp. 1-9.
- HARALABOPOULOS, D. A; PAPARSENOS, G. F., 1998, *Assessing the thermal insulation of old buildings. The need for in situ spot measurements of thermal resistance and planar infrared thermography*. Energy Conversion and Management. vol. 39. Pp. 65-79.
- IBARRA-CASTANEDO, C., MALDAGUE, X., , 2004, *Pulsed Phased Thermography reviewed*, QIRT Journal, volume 1, issues 1, pp. 47-70.
- IBARRA-CASTANEDO, C., 2005, *Quantitative Subsurface Defect Evaluation by Pulsed Phase Thermography: Depth Retrieval with the Phase*, Ph. D. thesis, Université Laval.
- INCROPERA, F.P, De Witt, D.P., 1999, *Fundamentos de Transferencia de Calor*, 4ª. Ed., Prentice Hall, México.
- KAPLAN, H., 1999, *Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment*, Segunda Edición, Tutorial Texts in Optical Engineering, SPIE PRESS, Vol. TT34.
- LI, Z; YAO, W; LEE, S; LEC. C; YANG, Z., 2000, *Application on infrared thermography technique in building finish evaluation*. Journal of Nondestructive Evaluation. vol. 19, pp. 11-19.
- MALDAGUE, X., 2000, *Applications of infrared thermography in non-destructive evaluation*, Trends in optical non-destructive testing and inspection, editors P. Rastogi y D. Inaudi, Elsevier, pp. 591-609.
- MALDAGUE, X., 2001, *Theory and Practice of Infrared Technology For Non-destructive Testing*, Ed. John Wiley & Sons, New York.
- MARTIN, R.E., GYEKENYESI, A.L., SHEPARD, S.M., 2003, *Interpreting the Results of Pulsed Thermography Data*. Materials Evaluation, vol. 61 n. 5, pp. 611-616.
- ORTEGA ANDRADE, Francisco., 1994, *Humedades en la edificación*. 2ª ed., Sevilla.
- RICO DELGADO, F., 2009, *Modelo de diagnóstico por imágenes en edificación mediante la aplicación de tecnologías avanzadas*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- WIGGENHAUSER, H., 2002, *Active IR-applications in civil engineering*. Infrared Physies & Technology, vol 43. pp. 233-238.
- ZUR, A., KATZIR, A., 1992, *Theory of non contact point ternal sensing by fiber-optic radiometry*. Applied Optics, Vol. 31, No. 1, pp. 55-68.